

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

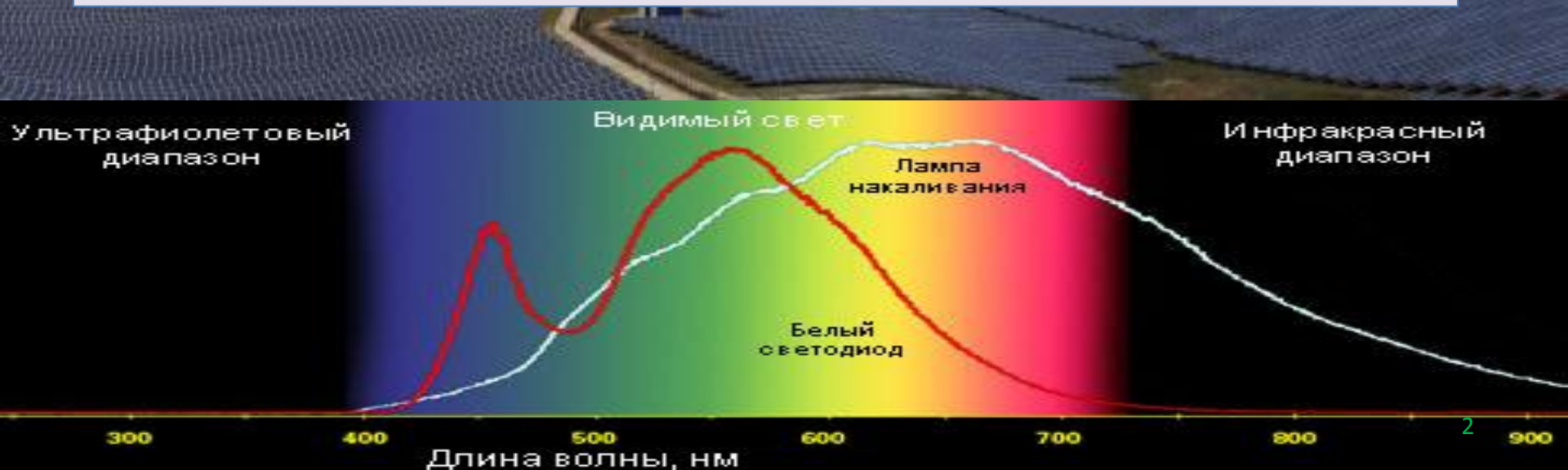
## Тема 9 Спектральные световые измерения



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

1. Излучатели и устройства для исследования их спектров
2. Спектральная эмиссия излучателей
3. Спектральное разложение
4. Спектральная чувствительность приемников.
5. Измерение спектрального состава излучения
6. Измерение деформаций волнового фронта



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



**Источниками излучения** называют приборы, преобразующие электрическую энергию возбуждения в оптическое излучение заданного спектрального состава и пространственного распределения. Источники – основа любой оптоэлектронной системы, они определяют её функциональные возможности, эксплуатационные и стоимостные характеристики, свойства остальных элементов – фотоприёмников, пассивных оптоэлектронных элементов.

солнце

Гамма Лучи

Х-Лучи

УФ-Лучи

Видимые Лучи

ИК-Лучи

Микроволны

Радиоволны

длина  
волны, мкм

$10^{-4}$

0,2

0,4

0,75

1000

Коротковолновое  
ИК-излучение

Средневолновое  
ИК-излучение

Длинноволновое  
ИК-излучение

0,75

1,5

4

1000

Человек излучает тепло в этом диапазоне волн

6

20

Диапазон волн нагревателей

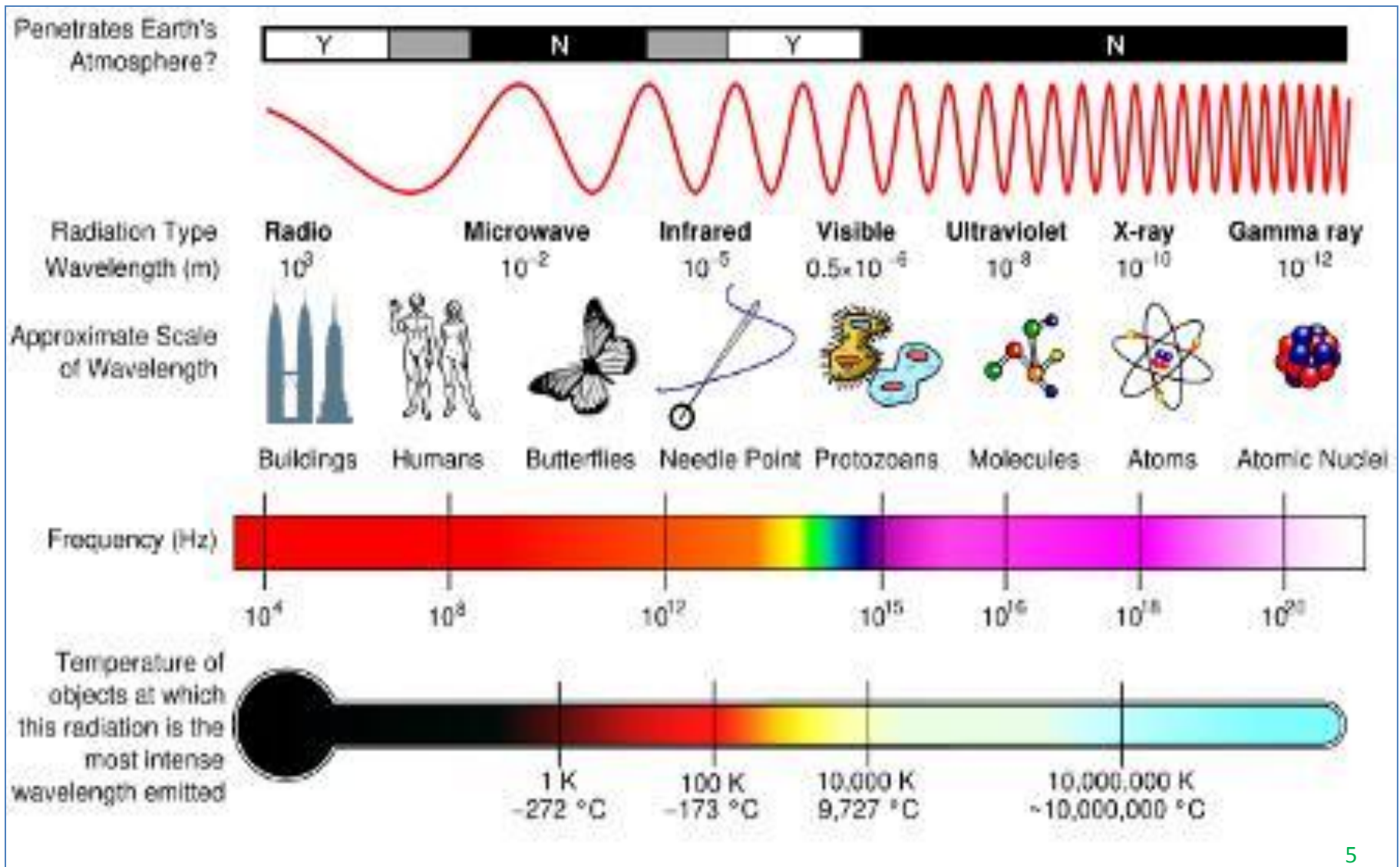
7

14



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Источниками *оптического излучения* (ИОИ) принято называть преобразователи различных видов энергии в электромагнитную энергию оптического диапазона с условными границами энергии кванта

$$\Delta E \sim 10^{-3} \quad 10^2 \text{ эВ}$$

$$(\Delta \nu \sim 10^{11} \quad 10^{17} \text{ Гц; } \Delta \lambda \sim 10^{-9} \quad 10^{-3} \text{ м}).$$

Практически все тела можно рассматривать как ИОИ.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

### Классификация ИОИ



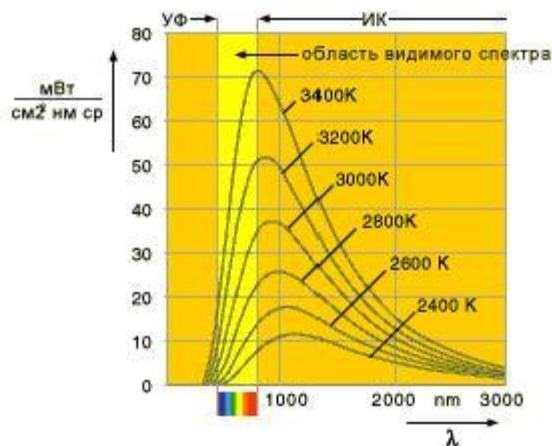


# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

### Тепловые ИОИ

Тепловое излучение – электромагнитное излучение, которое испускает любое нагретое вещество за счет спонтанного (самопроизвольного) преобразования своей внутренней (тепловой) энергии. Оно обусловлено тепловым движением частиц вещества и зависит от степени нагретости тела, которая определяется температурой. Повышение температуры излучателя обусловлено увеличением энергии поступательного, колебательного и вращательного движения его частиц. При этом растут поток излучения и средняя энергия кванта излучения – фотона.



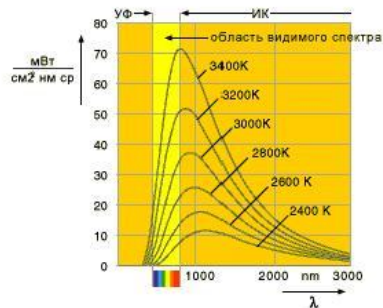


# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



**Тепловое излучение** возникает тогда, когда энергия, уносимая излучением, компенсируется посредством передачи телу соответствующего количества тепла. Полное описание свойств и характеристик теплового излучения производится на основе формулы Планка для спектральной плотности энергетической светимости



$$\rho_{\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/kT\lambda) - 1}$$

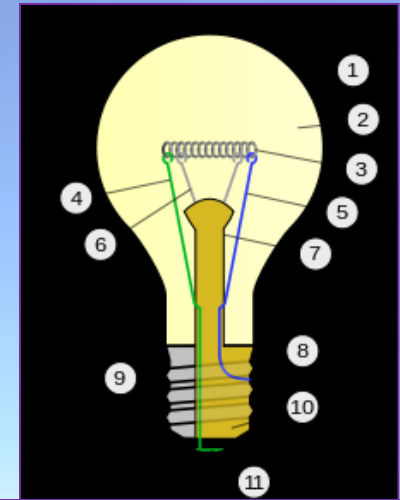
с учётом эмпирически определяемых параметров, в которых учитывается отличие свойств используемых материалов от свойств абсолютно чёрного тела.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Тепловое излучение используется в *лампах накаливания*, которые относительно редко используются в оптоэлектронных приборах, но всё ещё остаются наиболее распространёнными источниками излучения в осветительных приборах.

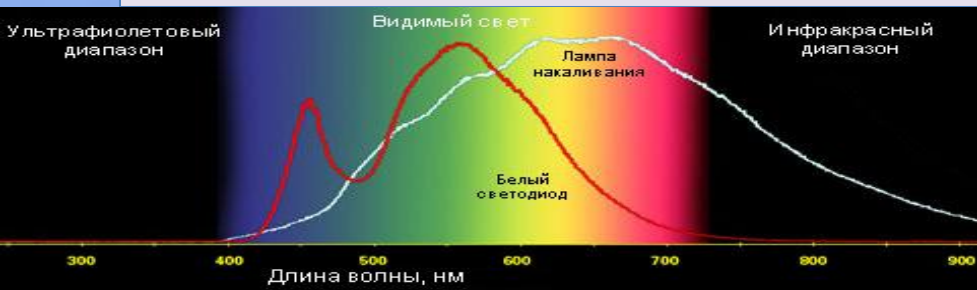
Собственно источником излучения в них является вольфрамовая нить накала, заключённая в вакуумную колбу, нагретая до температуры порядка 2450 К, ограниченной началом испарения нити. При этой температуре *максимум спектральной плотности энергетической светимости* приходится на длину волны  $\lambda_{\max} = 1,1 \text{ мкм}$  (ИК область), и лампа *больше греет, а не светит*. Поэтому светоотдача и КПД ламп накаливания относительно низкие: соответственно  $\sim 10 \text{ лм/Вт}$  и 1,6 %.



1 — колба; 2 — полость колбы (вакуумированная или наполненная газом); 3 — тело накала; 4, 5 — электроды (токовые вводы); 6 — крючки-держатели тела накала; 7 — ножка лампы; 8 — внешнее звено токоввода, предохранитель; 9 — корпус цоколя; 10 — изолятор цоколя (стекло); 11 — контакт доньшка цоколя

**Конструкция современной лампы накаливания**

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



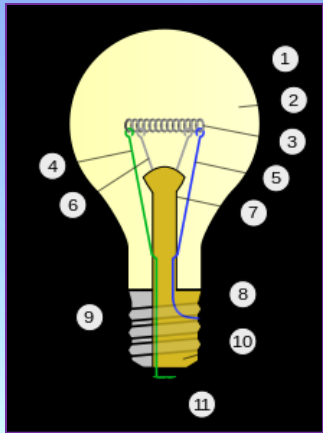
## Тема 9 Спектральные световые измерения

Для получения видимого излучения необходимо, чтобы температура излучающего тела превышала  $570^{\circ}\text{C}$  (температура начала красного свечения, видимого человеческим глазом в темноте). Для зрения человека, оптимальный, физиологически самый удобный, спектральный состав видимого света отвечает излучению абсолютно чёрного тела с температурой поверхности фотосферы Солнца  $5770\text{ K}$ . Однако неизвестны твердые вещества, способные без разрушения выдержать температуру фотосферы Солнца, поэтому рабочие температуры нитей ламп накаливания лежат в пределах  $2000\text{—}2800^{\circ}\text{C}$ . В телах накаливания современных ламп накаливания применяется тугоплавкий и относительно недорогой вольфрам (температура плавления  $3410^{\circ}\text{C}$ ), рений (температура плавления примерно та же, но выше прочность при пороговых температурах) и очень редко осмий (температура плавления  $3045^{\circ}\text{C}$ ). Поэтому спектр ламп накаливания смещён в красную часть спектра. Только малая доля электромагнитного излучения лежит в области видимого света, основная доля приходится на инфракрасное излучение.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Более высокую светотдачу имеют газонаполненные лампы накаливания, баллон которых заполнен инертным газом (например, аргоном), замедляющим испарение нити. В таких лампах оказывается возможным повысить температуру нити до  $2700 \div 2900 \text{ K}$ , достигая при этом уменьшения длины волны, соответствующей максимуму спектральной светимости, увеличения светотдачи до  $20 \text{ лм/Вт}$  и КПД до  $\sim 3,5\%$ .

Большинство современных ламп наполняются химически инертными газами (кроме ламп малой мощности, которые по-прежнему делают вакуумными). Потери тепла, возникающие при этом за счёт теплопроводности, уменьшают путём выбора газа с большой молярной массой. Смеси азота  $\text{N}_2$  с аргоном  $\text{Ar}$  являются наиболее распространёнными в силу малой себестоимости, также применяют чистый осушенный аргон, реже — криптон  $\text{Kr}$  или ксенон  $\text{Xe}$  (молярные массы:  $\text{N}_2$  —  $28,0134 \text{ г/моль}$ ;  $\text{Ar}$ :  $39,948 \text{ г/моль}$ ;  $\text{Kr}$  —  $83,798 \text{ г/моль}$ ;  $\text{Xe}$  —  $131,293 \text{ г/моль}$ ).

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



*Повышенное давление в колбе газонаполненных ламп обуславливает уменьшение скорости испарения вольфрамовой нити - срок службы лампы увеличивается, удастся повысить температуру тела накаливания. Таким образом, световой КПД повышается, а спектр излучения приближается к белому. Внутренняя поверхность колбы газонаполненной лампы медленнее темнеет при распылении материала тела накала в процессе работы, чем у вакуумированной лампы.*

*Все чистые металлы и их многие сплавы (в частности, вольфрам) имеют положительный температурный коэффициент сопротивления, что означает увеличение электрического удельного сопротивления с ростом температуры. В силу этой особенности автоматически стабилизируется электрическая потребляемая мощность лампы на ограниченном уровне при подключении к источнику напряжения (источнику с низким выходным сопротивлением), поэтому можно подключать лампы непосредственно к электрическим распределительным сетям без использования ограничивающих ток балластных реактивных или активных двухполюсников, что экономически выгодно отличает их от газоразрядных люминесцентных ламп. Для нити накаливания осветительной лампы типично сопротивление в холодном состоянии в 10 раз меньше, чем в нагретом до рабочих температур.*

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Использование выражения «нить накала» *нежелательно* — более правильным является термин «**тело накала**», включённый в состав Международного светотехнического словаря.

В лампах общего назначения тело накала в форме половины шестиугольника - для равномерности распределения светового потока по направлениям.

Тело накала первых ламп изготавливалось из угля (температура возгонки  $3559^{\circ}\text{C}$ ). В современных лампах применяются почти исключительно спирали из вольфрама, иногда осмиево-вольфрамового сплава. Для уменьшения размеров тела накала ему обычно придаётся форма *спирали*, иногда спираль подвергают повторной или даже третичной спирализации, получая соответственно *биспираль* или *триспираль*. КПД таких ламп выше за счёт уменьшения тепловых потерь из-за конвекции (уменьшается толщина ленгмюровского слоя).





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



**Галогенные лампы  
накаливания**

Принципиальной особенностью *галогенных ламп* накаливания является введение в полость колбы галогенов или их соединений. В такой лампе *испарившийся с поверхности тела накала металл вступает в соединение с галогенами, и затем возвращается на поверхность нити* за счёт температурного разложения получившегося соединения.

*Достоинства ламп накаливания* являются их низкая стоимость, высокая температурная и радиационная стойкость, высокая интегральная яркость (  $\sim (1 \div 10) \cdot 10^6$  кд/м<sup>2</sup>; сравните с Солнцем, у которого интегральная яркость поверхности равна  $1,5 \cdot 10^{10}$  кд/м<sup>2</sup>).

*Недостатки лампы накаливания* — наличие вакуумной системы, широкий спектр излучения, значительная инерционность ( $10^{-2} \div 10^{-1}$  с), низкий КПД.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Лампы накаливания для оптических приборов, к числу которых относятся и выпускавшиеся массово до конца XX в. лампы для кинопроекционной техники, имеют компактно уложенные спирали, многие помещаются в колбы специальной формы. Используются в различных приборах (измерительные приборы, медицинская техника и т. п.).



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

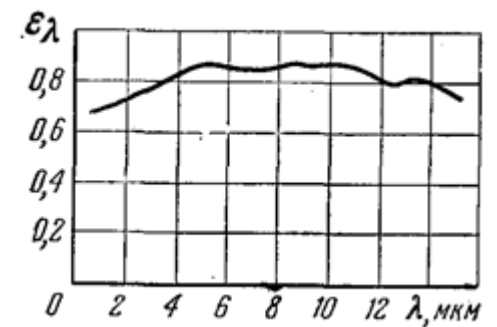
## Тема 9 Спектральные световые измерения

В приборах, предназначенных для работы в ИК области спектра, источниками излучения служат глобары и штифты Нернста.

**Глобар** – силитовый излучатель – стержень длиной 5 – 10 см, диаметром 4 – 7 мм, спрессованный из тугоплавкого материала (карбида кремния  $\text{SiC}$ ,  $T_{\text{пл}} = 2540 \text{ K}$ ). Карбид кремния имеет сравнительно высокую проводимость, поэтому его можно нагревать электрическим током. Утолщённые для понижения сопротивления контактные концы стержня присоединяются к зажимам электрической цепи. Во время работы глобар выделяет много тепла, поэтому его помещают в охлаждаемый водой кожух. Рабочая температура глобара достигает  $\sim 1400 \text{ K}$ . Глобар с нанесенным на внешнюю поверхность защитным слоем двуокиси тория  $\text{ThO}_2$  может работать при  $T \sim 2000 \text{ K}$ . *Максимум излучательной способности глобара при  $1400 \text{ K}$  находится в области  $\lambda \sim 2 \text{ мкм}$ . Коэффициент черноты глобара  $\varepsilon = (0,8 \div 0,9)$ .*



Рис. 2.6. Глобарный источник ИК-излучения



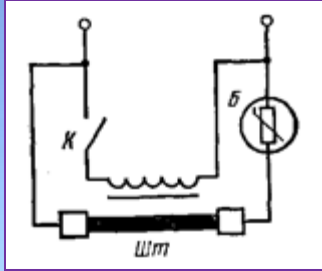
10000 K      8000 K      6000 K      4000 K      2000 K

Зависимость цвета излучения нагретого тела от температуры



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



**Штифт Нернста** представляет стержень длиной 10 – 20 мм и диаметром 2 – 3 мм, изготавливаемый из тугоплавких окислов  $\text{ZrO}_2$  (80 %),  $\text{ThO}_2$  (10 %),  $\text{CaO}$  (5 %),  $\text{MgO}$  (5 %). При низких температурах штифт Нернста является хорошим изолятором и обладает отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, поэтому предварительно его необходимо разогреть до 1000 К неэлектрическим методом. Дальнейшее нагревание происходит за счёт выделения тепла при прохождении электрического тока.



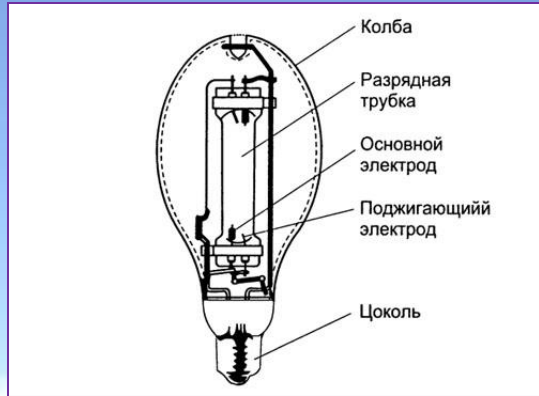
Максимум излучения штифта Нернста при рабочей температуре 177 К находится в области  $\lambda \sim 1,5$  мкм. В области спектра от 1 до 6 мкм штифт излучает селективно, в видимой области и при  $\lambda > 7$  мкм его можно считать серым излучателем. Спектральная характеристика излучения штифта Нернста зависит от способа его изготовления, температуры и условий работы.



Для метрологических измерений используется определяемое только величиной  $T$  равновесное излучение моделей чёрного тела с  $\varepsilon(\lambda) > 0,99$ .

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



**Четырехэлектродная дуговая  
ртутная люминесцентная  
лампа высокого давления**



**Газоразрядные ИОИ** изготавливаются в виде герметичных ламп трубчатой, шаровой и др. формы с впаянными в них электродами, наполняемых газами при давлениях от Па до МПа. В них могут вводиться металлы или их химические соединения, испаряемые при разряде в буферном инертном газе (Ar, смесь Ne- Ar, р сотни - тысячи Па) до давления насыщенных паров рн, определяемого температурой колбы. Особенно широко используется Hg, имеющая относительно высокое рн при низких  $T$  и химически не взаимодействующая со стеклом. Разрядные трубки ламп со щелочными и др. металлами изготавливаются из термо- и химически стойких прозрачных материалов (специальные сорта стекла, поликор и др.) и обычно помещаются во внешнюю стеклянную оболочку для поддержания *необходимого теплового режима*, который *устанавливается только через несколько минут после включения*.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Ртутные и ксеноновые лампы **высокого** (до 2 МПа) и **сверхвысокого** (до 20 МПа) давления имеют колбы из кварцевого стекла, сохраняющего прочность при рабочих температурах 700-1200 К. В лабораторных источниках используются камеры специальной конструкции, например, с продувом газа, с дифференциальной откачкой для получения вакуумного УФ излучения и др.

Спектральный диапазон излучения, выходящего из газоразрядных ИОИ, определяется областью пропускания материала колбы лампы - силикатных (0,29-4 мкм) и кварцевых (0,16-4,5 мкм) стёкол или окошек из этих и др. оптических материалов (сапфир, флюорит, MgF, LiF). Газоразрядные ИОИ низкого давления ( $p \sim 20$  кПа) в зависимости от плотности тока на катоде  $j_k$  работают в режиме тлеющего или дугового разряда.

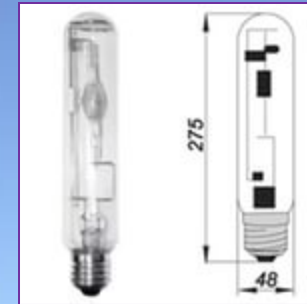




# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

**Спектральные лампы**, излучающие узкие, в основном резонансные линии различных элементов или непрерывный спектр с известной спектральной плотностью  $\Phi_e$ , используются в спектрофотометрии, эмиссионном, атомно-абсорбционном и атомно-флуоресцентном анализе, спектроскопии сверхвысокого разрешения, оптической магнитометрии, рефрактометрии, в качестве эталонов длин волн и спектральной плотности при градуировке спектральных приборов и приёмников излучения



**Спектральные дуговые лампы** с парами металлов (Hg, Cd, Zn, Tl, Na, K, Rb, Cs) излучают линейчатые спектры с яркими ( $L_v=2,5-1000$  ккд/м<sup>2</sup>) резонансными линиями металлов в видимой, ближних УФ и ИК областях. **Лампы с инертными газами** излучают линейчатые спектры с резонансными линиями инертных газов в вакуумной УФ-области ( $\Phi_e=10^{14}-10^{16}$  ф/с). **Водородные и дейтериевые лампы** излучают рекомбинационный и молекулярный континуум в диапазоне  $\lambda=500-165$  нм и линейчатый спектр до  $\lambda=90$  нм.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

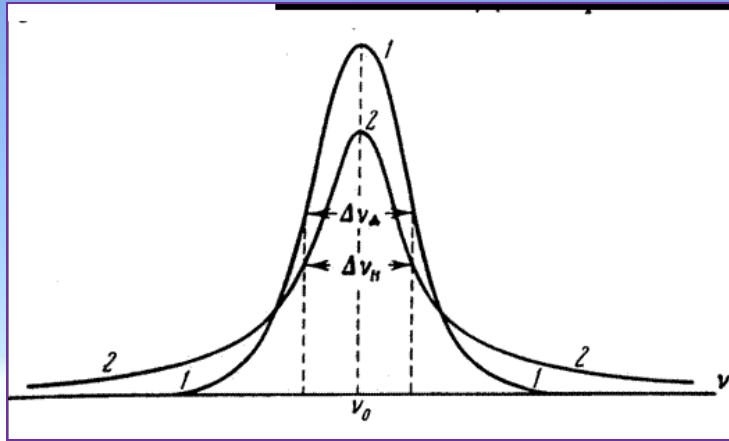
Система параметров источников излучения вводится с учётом функционального назначения и физических принципов действия двух основных типов источников, используемых в оптоэлектронике: излучающих диодов и лазеров.

Интенсивность излучения характеризует *мощность излучения*  $P_{\text{изл}}$  (мВт; для лазеров и инфракрасных излучающих диодов); *сила света*  $I_v$  (мккд, мкд; для светоизлучающих диодов). Оба параметра измеряются при заданном номинальном или рабочем значении силы тока возбуждения  $J_{\text{раб}}$  лазеров и прямого тока  $J_{\text{пр}}$  излучающих диодов. В связи с сильной зависимостью  $P_{\text{изл}}(J_{\text{раб}})$  во избежание выхода лазеров из строя при измерении этой характеристики устанавливается требуемая мощность и измеряется сила тока накачки.

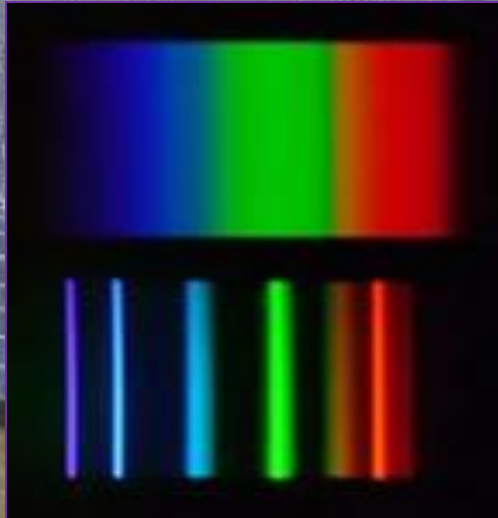


# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



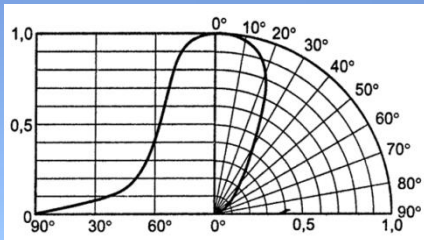
Спектральные свойства источников излучения характеризуют длиной волны (мкм, нм), соответствующей максимальной спектральной интенсивности излучения, шириной спектральной полосы (нм), определяемой по 50%-му уровню спада интенсивности. Для излучающих диодов и лазеров обычно этих параметров достаточно; для некоторых применений бывает важно задать спектральное распределение  $P_{\text{изл}}(\lambda)$  или координаты цветности (x, y).





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Для характеристики направленности используют *угол излучения*  $\alpha$ , определяемый по 50%-му уровню спада интенсивности, или *диаграмму направленности*  $P_{\text{изл}}(\varphi)$  – зависимость мощности излучения от угла обзора.

*Быстродействие* характеризуется импульсными параметрами: *временем нарастания (спада) импульса* при скачкообразном включении (выключении) импульса возбуждения (нс) и *временем задержки импульса излучения* (нс). Эти параметры измеряются по уровню 0,1 и 0,9 фронта и спада импульса излучения соответственно. Иногда используется постоянная времени релаксации (спада) свечения, определяемая как время уменьшения интенсивности в  $e$  раз (при экспоненциальном спаде интенсивности).

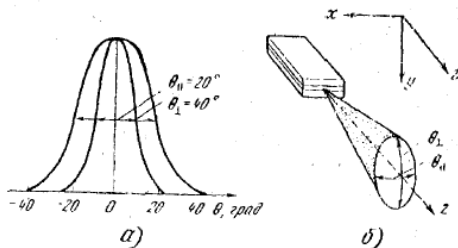
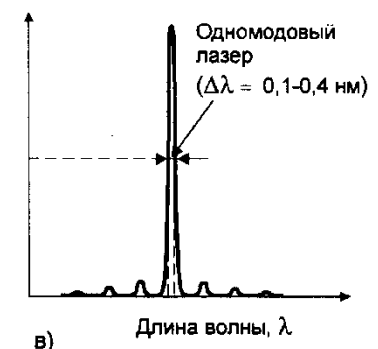
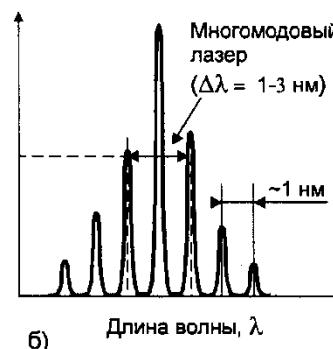
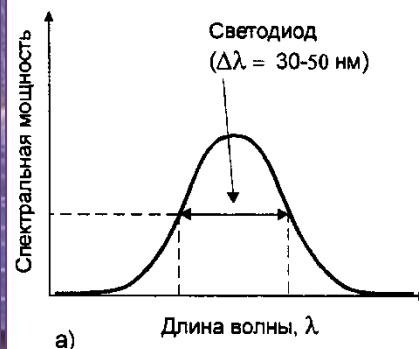


Диаграмма направленности оптического излучения лазерного диода:  
а – ширина излучения в параллельной и перпендикулярной плоскостях; б – зависимость излучаемой мощности от угла по взаимно перпендикулярным направлениям





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Светодиодом, или светоизлучающим диодом (СИД) называют полупроводниковый прибор с  $p$ - $n$ -переходом, протекание через который электрического тока в прямом направлении сопровождается интенсивным некогерентным излучением. СИД могут иметь и иную структуру, например металл-полупроводник. Если генерация света происходит вследствие инъекции неосновных носителей заряда и их последующей рекомбинации, то СИД называют инжекционным. Наиболее распространены инжекционные излучающие диоды с гомо- и гетеро-  $p$ - $n$ -переходом.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

### *Преимущества светодиодов*

**Экономичность.** Светодиоды работают от низкого напряжения и, соответственно, потребляют очень мало электроэнергии, так как по сравнению с обычными источниками света практически всю энергию превращают в свет. Это позволяет снизить потребление энергии на 75%.

**Практически вечный срок службы.** Теоретически до 100 000 часов горения, то есть при использовании светильника в среднем по 8 часов в день он прослужит 35 лет! Для сравнения – обычной галогенной лампочки мощностью 10 Ватт хватает лишь на 2000 часов.

**Прочность.** В отличие от традиционных источников света светодиоды намного прочнее и менее подвержены механическому воздействию, поскольку в них отсутствуют элементы (спирали, электроды), которые могут быть повреждены.

**Отсутствие у светодиодов ультрафиолетового и инфракрасного излучения,** что позволяет использовать их, в частности, для экспозиционной подсветки.

**Любой оттенок.** Особая система цветосмешения (установка в одном корпусе трех групп светодиодов) позволяет получить практически любой цвет светового потока, что, несомненно, расширяет возможности использования светодиодов.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



**Приёмники оптического излучения** – это устройства, изменение состояния которых под действием потока оптического излучения служит для обнаружения этого излучения. Приёмники оптического излучения преобразуют энергию оптического излучения в другие виды энергии (тепловую, электрическую, механическую и т.д.), более удобные для непосредственного измерения. Они реагируют на интенсивность излучения, усреднённую по многим периодам колебаний поля, так как время реакции приёмника независимо от того, на каком физическом явлении он основан, определяется процессами переноса и релаксации, которые происходят медленнее, чем колебания светового поля.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Важными параметрами, характеризующими свойства и возможности различных типов приёмников оптического излучения, являются:

**пороговая чувствительность** – минимальный поток излучения (который может быть обнаружен на фоне собственных шумов приёмника оптического излучения), отнесённый к единице полосы рабочих частот (измеряется в  $\text{Вт/Гц}^{1/2}$ );

**коэффициент преобразования** (интегральная чувствительность, относительная чувствительность), который связывает падающий поток излучения с величиной сигнала на выходе приёмника оптического излучения;

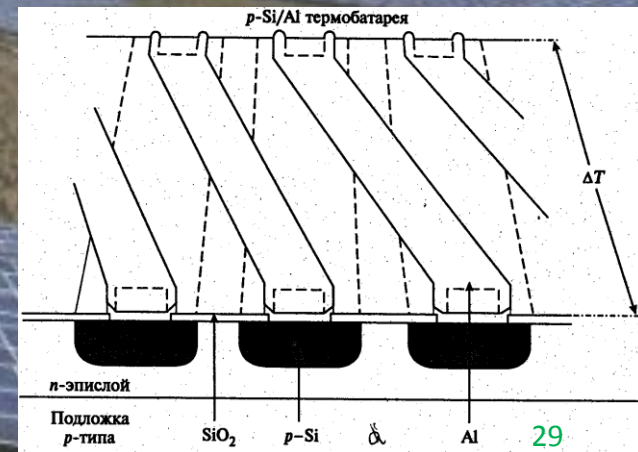
**постоянная времени** – время, за которое сигнал на выходе приёмника оптического излучения нарастает до определённого уровня (этот параметр служит мерой способности приёмника оптического излучения регистрировать оптические сигналы минимальной длительности);

**спектральная характеристика** – зависимость чувствительности приёмника оптического излучения от длины волны излучения. Приёмники оптического излучения, у которых чувствительность слабо зависит от длины волны в широком диапазоне длин волн, называют неселективными, в отличие от селективных приёмников оптического излучения, имеющих на спектральной характеристике чётко выраженные максимумы и (или) минимумы.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

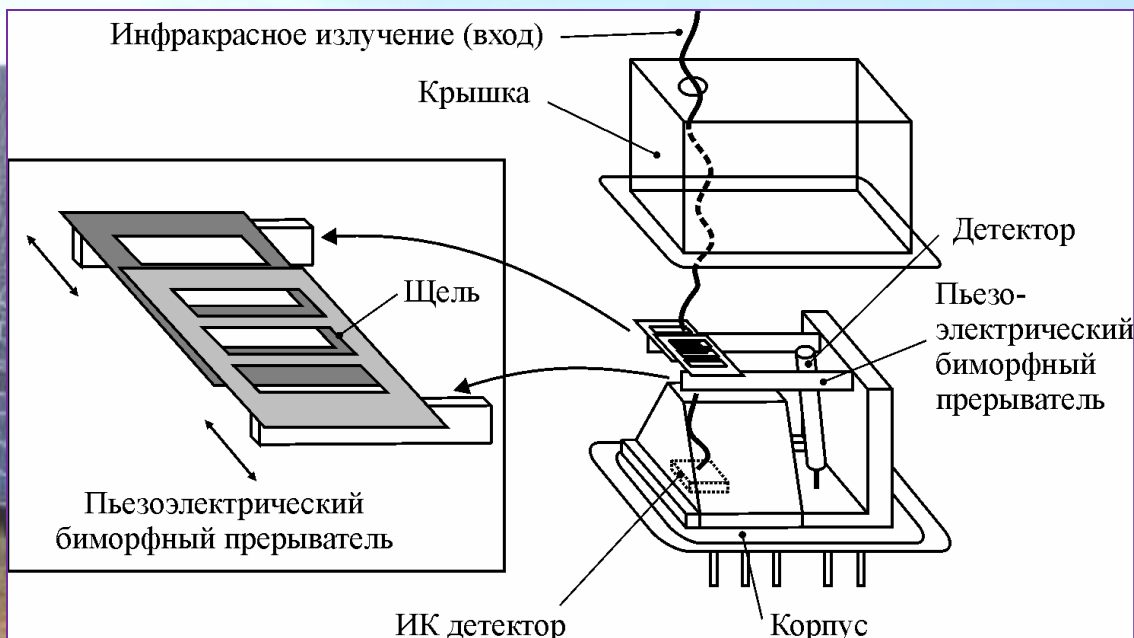
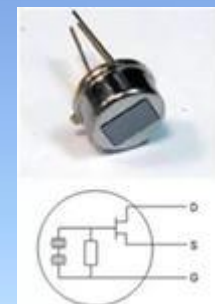
Поглощение энергии оптического излучения вызывает изменение состояния вещества его чувствительного элемента. Таким изменением может быть повышение температуры, которое в свою очередь вызывает изменение различных параметров вещества: давления газа, электропроводности твердого тела, электрической поляризации диэлектрика и др. Приёмники оптического излучения, основанные на этом принципе, называют **тепловыми**. Наиболее распространённые приёмники оптического излучения этого типа – металлические и полупроводниковые болометры и термоэлементы.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

**Пирозлектрические** приёмники оптического излучения обычно изготавливают из сегнетоэлектриков; при взаимодействии с излучением на их поверхности появляются статические электрические заряды.





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

В *оптико-акустических и пневматических* (газовых, жидкостных) *приёмниках* оптического излучения регистрируется либо увеличение (в результате повышения температуры) объёма поглощающей среды, либо акустической волны (звук), возникающие в ней при поглощении оптического излучения.



Внешний оптико -акустический оповещатель  
GE/UTCFS UTC Fire&Security AS506.



Выключатель  
энергосберегающий оптико -  
акустический ЭВ-01.



Светильник с оптико-  
акустическим датчиком

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Дилатометр Netzsch DIL 402 C.



Аппарат Одибер-Арну  
(дилатометр)  
автоматизированный



Устройство терморегулирующее  
дилатометрическое электрическое ТДЭ-4М, ТДЭ-5М, ТДЭ-7М

*Дилатометрические*  
приёмники оптического  
излучения основаны на  
использовании теплового  
расширения твердых тел.

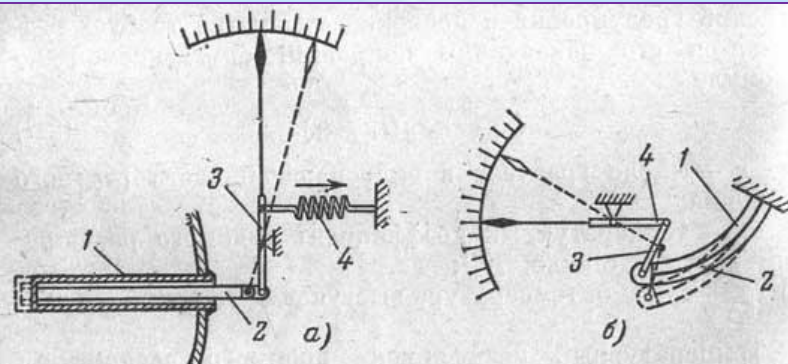


Рис. 2-7. Дилатометрические термометры.  
а — стержневой; б — пластинчатый.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Тепловые приёмники оптического излучения, как правило, неселективны и пригодны для измерения электромагнитной энергии *в широкой области спектра* (0,2 – 50 мкм, иногда до 1000 мкм).

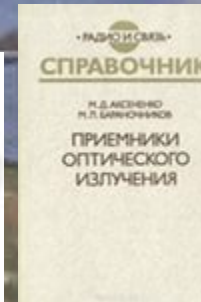
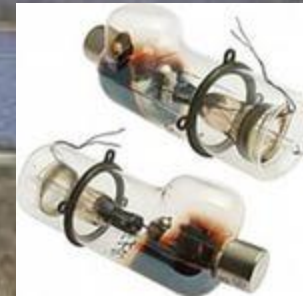
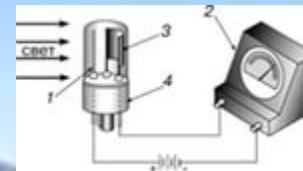
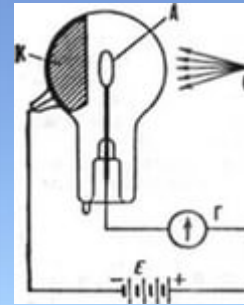
*Порог чувствительности* лучших тепловых приёмников оптического излучения  $10^{-11} - 10^{-10}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup> при постоянной времени  $10^{-3} - 10^{-1}$  с. Сверхпроводящий полупроводниковые болометры, работающие при глубоком охлаждении (3 – 15 К), имеют порог чувствительности на уровне  $10^{-12}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup> и постоянную времени  $10^{-4}$  с.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

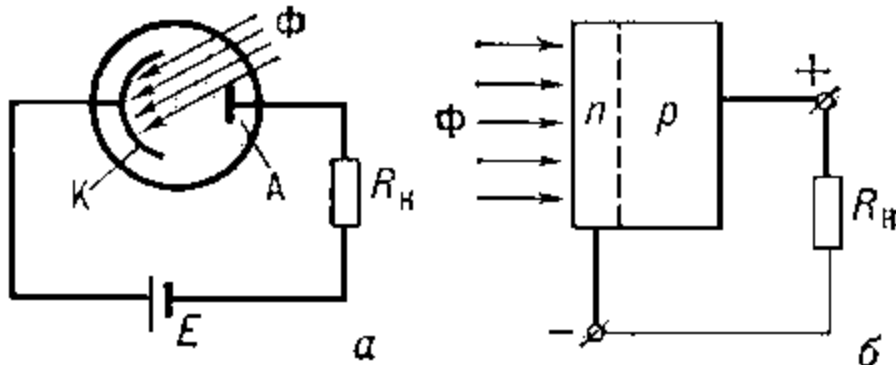
## Тема 9 Спектральные световые измерения

**Фотоэлектрические** приёмники оптического излучения непосредственно преобразуют электромагнитную энергию в электрическую. Их разделяют на приёмники оптического излучения с *внешним* и *внутренним* фотоэффектом. К ним относятся фотоэлементы, фотоэлектронные умножители, фоторезисторы, фотодиоды, электронно-оптические преобразователи, приёмники оптического излучения с фотоэлектромагнитным эффектом, квантовые усилители оптического диапазона. Эти приёмники оптического излучения *селективны*, и их реакция зависит от величины энергии отдельных поглощённых квантов.

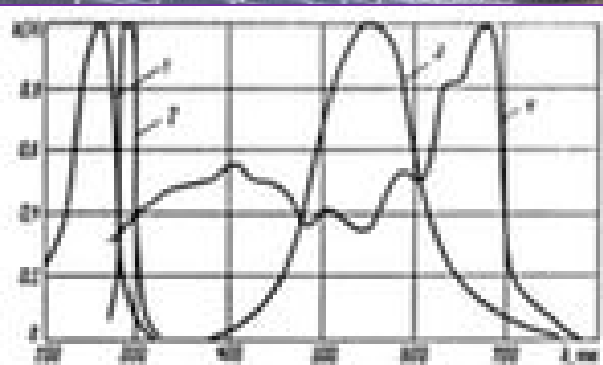


# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Спектральная характеристика приёмников оптического излучения с внешним фотоэффектом имеет характерную длинноволновую (красную) границу в области 0,6 – 1,2 мкм, определяемую природой вещества чувствительного элемента приемника (работой выхода).



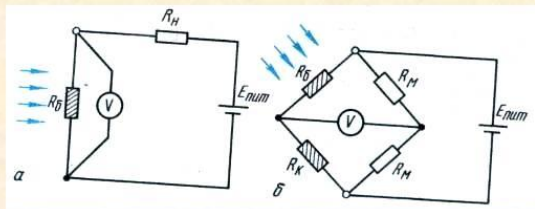
Относительная спектральная чувствительность приемников

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

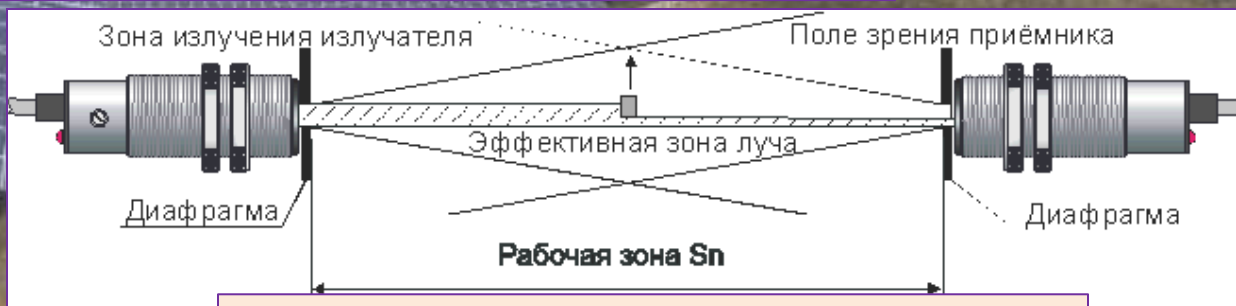
## Тема 9 Спектральные световые измерения

### Приемники инфракрасного излучения

Наиболее распространенными приемниками инфракрасного излучения являются болометры, термоэлементы и фоторезисторы.



Фотоэлектрические приёмники оптического излучения с внутренним фотоэффектом в зависимости от типа чувствительны в ближней, средней и далёкой ИК области спектра (до 10 – 30 мкм).



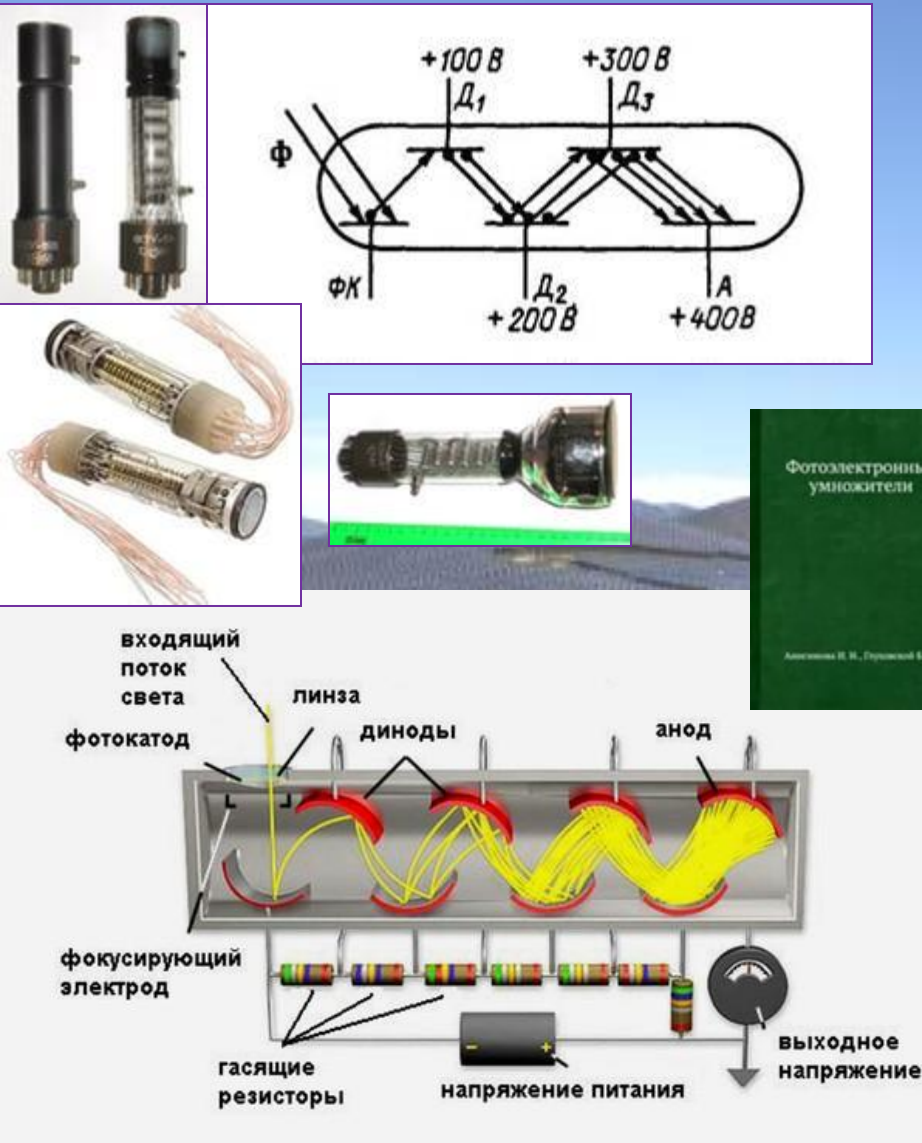
Оптический датчик





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

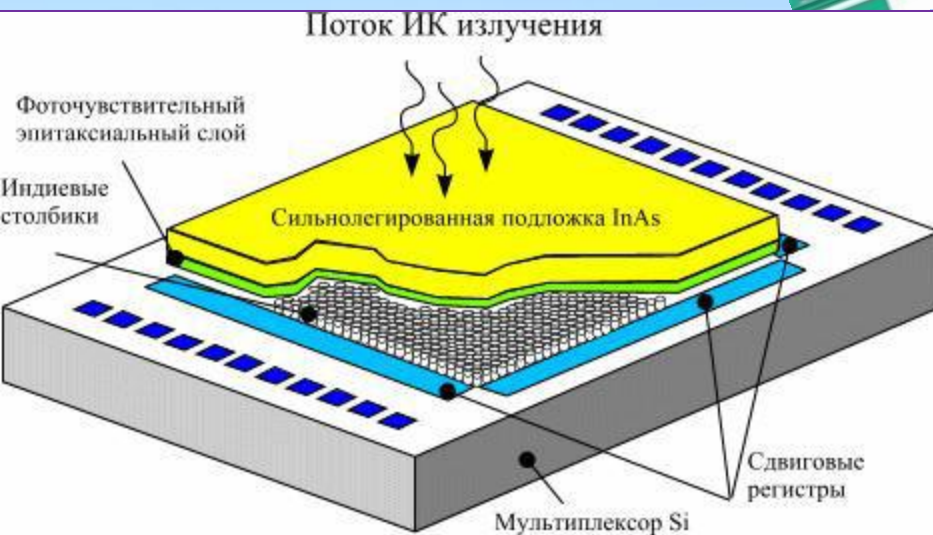
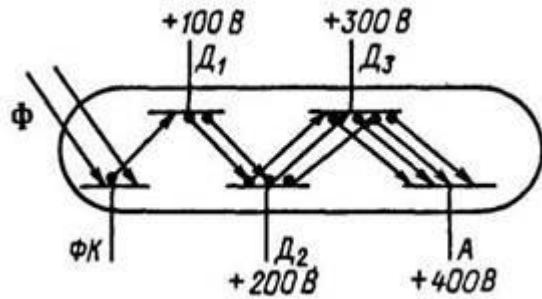


Порог чувствительности приёмников оптического излучения с внешним фотоэффектом может быть доведён до  $10^{-12} - 10^{-15}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup> при постоянной времени  $10^{-9}$  с. Порог чувствительности так называемых *счётчиков фотонов* (полупроводниковых лавинных фотодиодов) ещё выше — до  $10^{-17}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup>. Предельная чувствительность фоторезисторов  $10^{-10} - 10^{-12}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup> при постоянной времени  $10^{-5} - 10^{-7}$  с.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Матрица тепловизора - приемник, или детектор излучения, принимающий и преобразующий энергию оптического излучения

- Порог чувствительности приёмников оптического излучения с внешним фотоэффектом может быть доведён до  $10^{-12} - 10^{-15} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$  при постоянной времени  $10^{-9} \text{ с}$ . Порог чувствительности так называемых *счётчиков фотонов* (полупроводниковых лавинных фотодиодов) ещё выше – до  $10^{-17} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$ . Предельная чувствительность фоторезисторов  $10^{-10} - 10^{-12} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$  при постоянной времени  $10^{-5} - 10^{-7} \text{ с}$ .

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

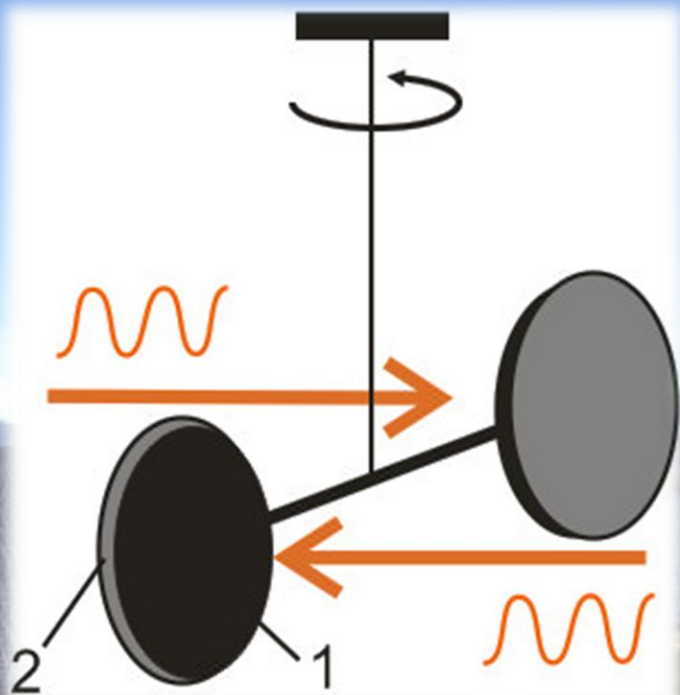
Для регистрации сверхкоротких импульсов лазерного излучения ИК диапазона разработаны новые приёмники оптического излучения, основанные на эффекте увлечения светом носителей зарядов. При наличии у электромагнитной волны конечного импульса при взаимодействии излучения с веществом (внутризонное поглощение на свободных носителях, переходы между подзонами в валентной зоне) возникает направленное движение носителей, которое регистрируется в виде тока или напряжения. Приёмники оптического излучения такого типа имеют постоянную времени  $10^{-11} - 10^{-10}$  с, не требуют принудительного охлаждения и использования источников питания. Ещё большее временное разрешение, до  $10^{-14} - 10^{-13}$  с, может быть получено при использовании приёмников с микроантенной на основе структур *металл – окисел – металл*, работающих как туннельный диод. Недостатком приёмников этого типа является их малая чувствительность.





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

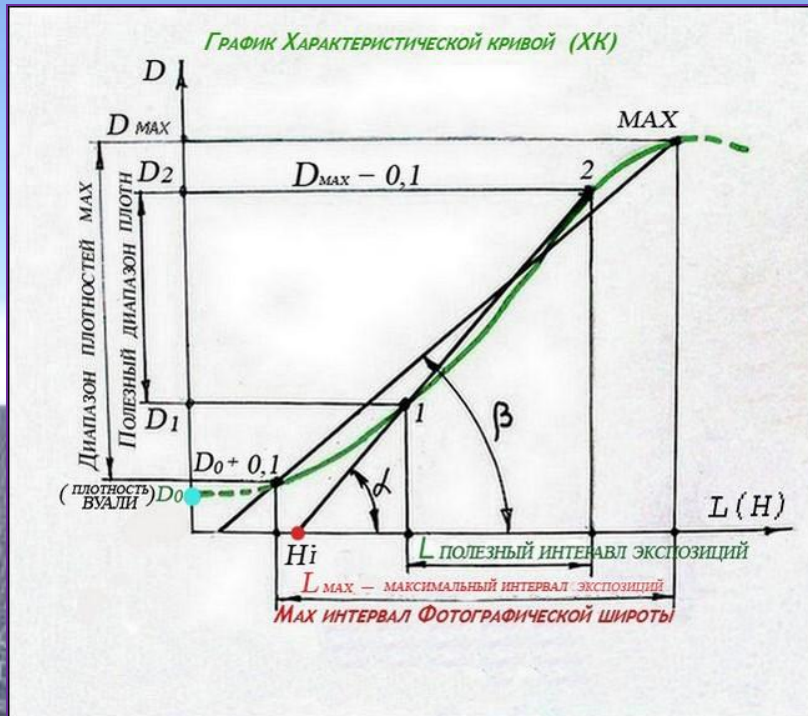
## Тема 9 Спектральные световые измерения



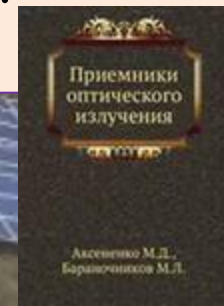
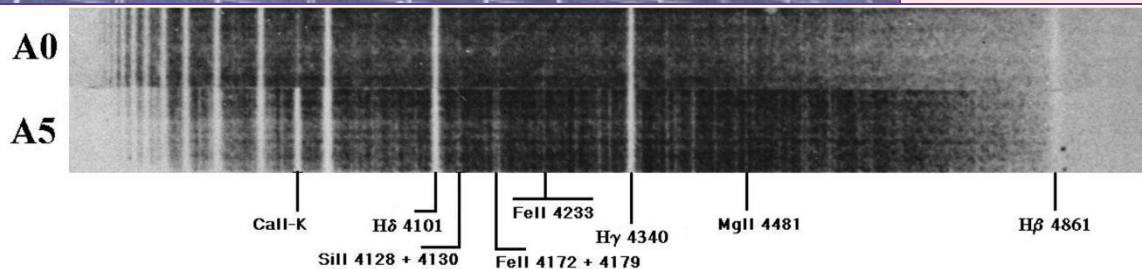
**Пондеромоторные** (механические) приёмники оптического излучения реагируют на световое давление, для измерения которого можно использовать различные типы датчиков (ёмкостный, пьезоэлектрический), но чаще всего используют крутильные весы. Применение приёмников этого типа ограничено, так как они очень чувствительны к вибрациям и тепловому излучению окружающей среды.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

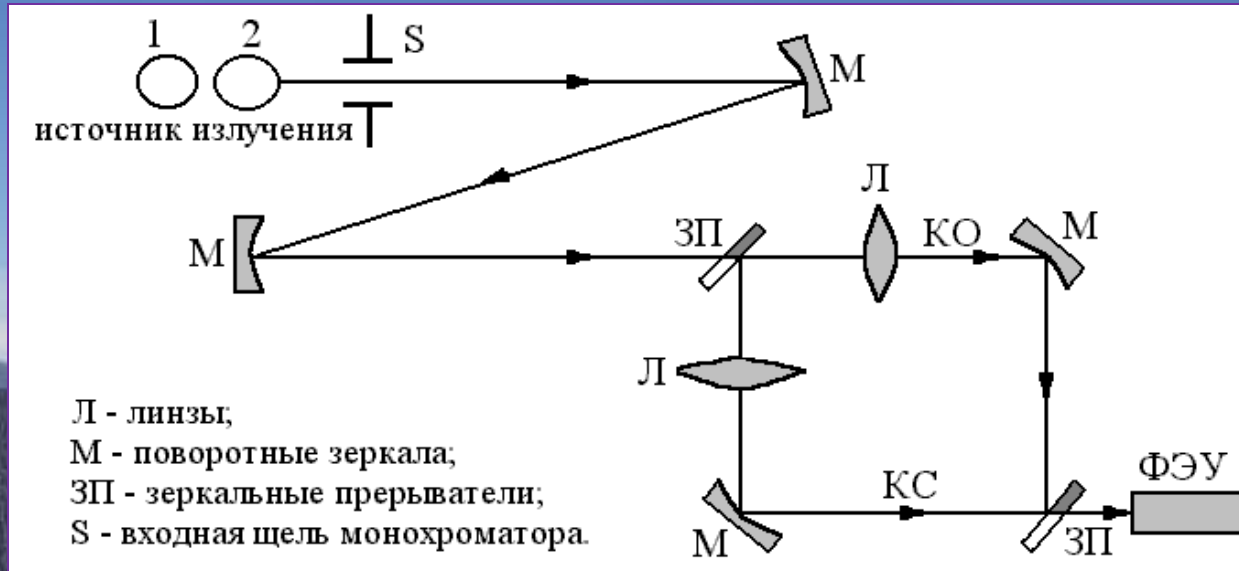


К *фотохимическим* приёмникам оптического излучения относятся все виды фотослоёв, используемых в современной фотографии. В отличие от фотоэлектрических и тепловых приёмников оптического излучения фотослой не только суммирует фотохимическое действие излучения, но и обладает способностью сохранять его в течение длительного времени. Мерой величины поглощенной энергии служит оптическая плотность проявленного фотослоя.



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



Оптическая схема спектрофотометра "Specord UV-VIS".



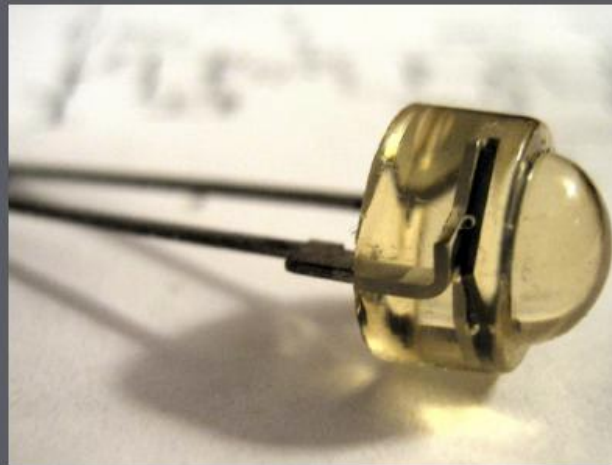
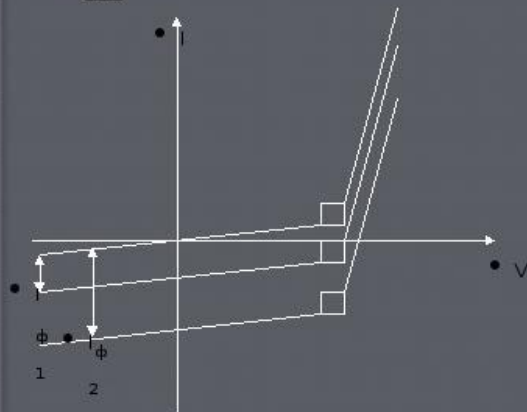
# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

### • ФОТОДИОДЫ

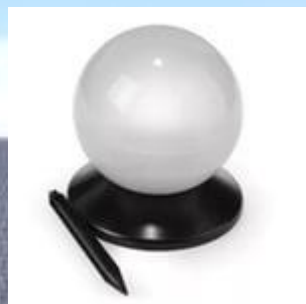
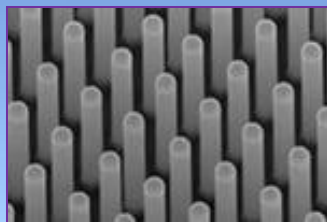
- Приемник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в р-п-переходе

• ВАР



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

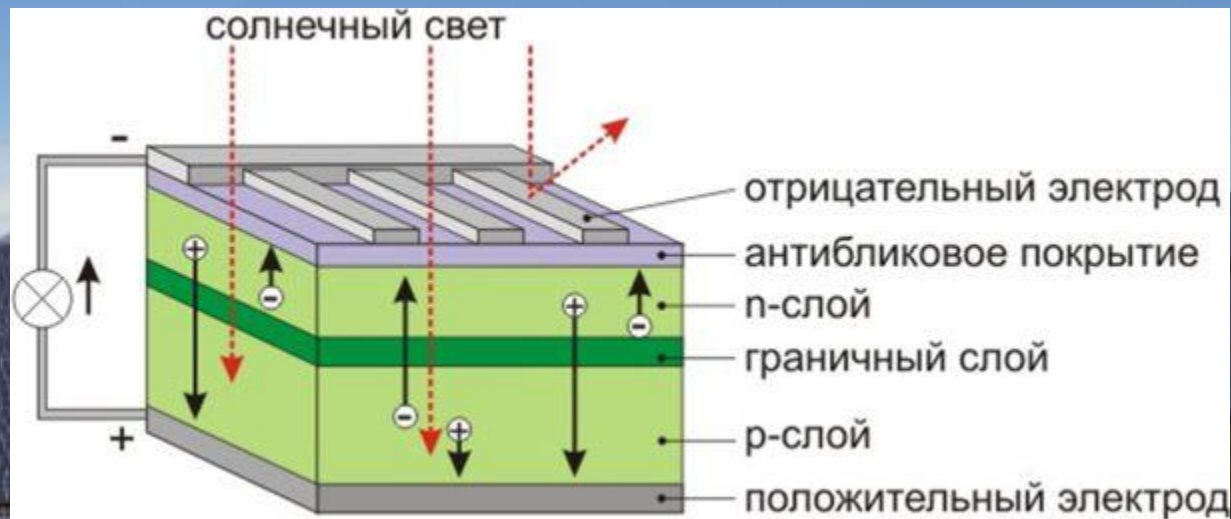
## Тема 9 Спектральные световые измерения





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

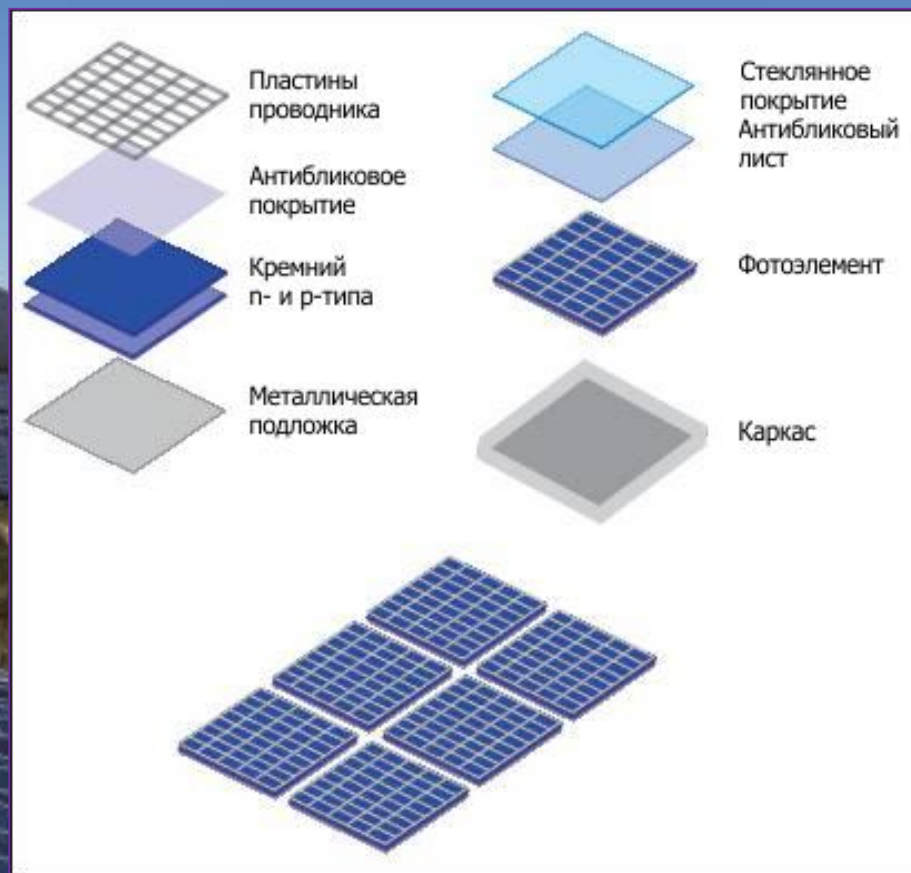
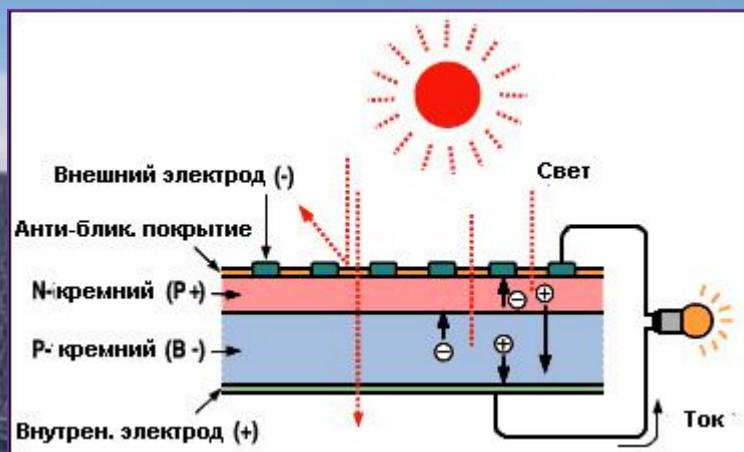
## Тема 9 Спектральные световые измерения





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения



# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

На холмах коммуны Ле-Ме в Провансе, Франция, находится огромная долина солнечных батарей, занимающих территорию в 200 гектар. 112 780 солнечных модулей генерируют электроэнергию мощностью 100 мегаватт.





# ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## Тема 9 Спектральные световые измерения

Крупнейшая в Беларуси солнечная электростанция строится

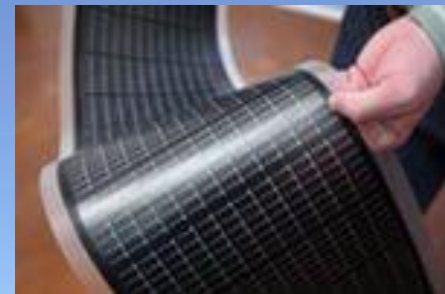
**в Брагине.** Солнечная электростанция начнет работать летом 2016 года. В ней *будет 85 тысяч солнечных панелей*, которые занимают территорию в 56 га. По размерам это примерно 80 футбольных полей. Чтобы связать между собой все солнечные модули, будет проложено около 800 км кабельных линий.

*Мощность электростанции составит 22,3 МВт.* Это рекордный показатель для белорусских гелиоустановок. Такой мощности достаточно, например, для работы всей вечерней подсветки Минска. Для строительства выбран Брагинский район, так как здесь всего на 10 % меньше солнечных дней, чем в Сочи (190 дней в год). Планируется, что солнечная станция окупится через четыре-пять лет.





**БОЛЬШОЕ НАЧИНАЕТСЯ С МАЛОГО...**



**УДАЧИ ВАМ ВО ВСЕХ ДОБРЫХ ДЕЛАХ!**